

PCT

ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE  
Bureau international



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>H01L 41/09</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 97/50134</b> (43) Date de publication internationale: 31 décembre 1997 (31.12.97)
--	-----------	---

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR97/01135  
(22) Date de dépôt international: 25 juin 1997 (25.06.97)  
(30) Données relatives à la priorité:  
96/08240 27 juin 1996 (27.06.96) FR  
(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): CEDRAT-RECHERCHE [FR/FR]; 10, chemin du Pré Carré, F-38240 Meylan (FR).  
(72) Inventeurs; et  
(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): CLAEYSSSEN, Frank [FR/FR]; 6, allée du Marais, F-38240 Meylan (FR). LE LETTY, Ronan [FR/FR]; 5, rue Lachmann, F-38000 Grenoble (FR). LHERMET, Nicolas [FR/FR]; 13, allée des Etangs, F-38240 Meylan (FR).  
(74) Mandataire: HECKE, Gérard; Cabinet Hecke, World Trade Center - Europole, 5, place Robert Schuman, Boîte postale 1537, F-38025 Grenoble Cedex 1 (FR).

(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Publiée

*Avec rapport de recherche internationale.*

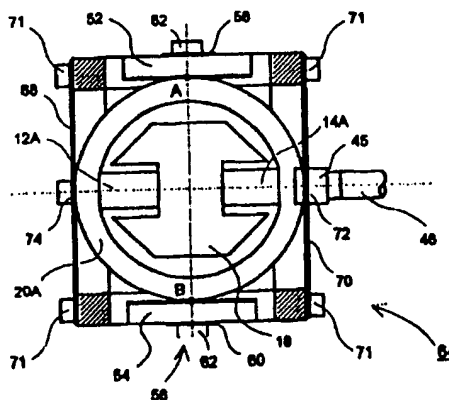
*Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si de telles modifications sont reçues.*

(54) Title: PIEZO-ACTIVE ENGINE BASED ON INDEPENDENT STATOR MODULES

(54) Titre: MOTEUR PIEZOACTIF A BASE DE MODULES STATORIQUES INDEPENDANTS

(57) Abstract

The invention discloses a piezo-active engine having a stator equipped with independent stator modules (44), each comprising at least one pair of longitudinal piezo-active actuators (12, 14) colinearly arranged inside a mechanical coupling element (16) in the form of a shell (20). Furthermore, it is mounted by means of decoupling resilient links (68, 70), and comprises a central counter-mass (18). In order to provide a closed trajectory for the summits (A and B) to cause by friction the relative displacement of a driven element on a large stroke range, and to position the driven element, these modules use separately or in combination: a translational deformation, obtained when the piezo-active actuators are deformed in opposite directions and produce a tangential displacement of the summits (A and B) of the shell (20) relative to the counter-mass (18), by means of the mass ratio between the counter-mass and the shell; a flexional deformation, obtained when the piezo-active actuators are deformed in the same way and produce a flexion of the shell (20), causing a normal displacement of the summits A and B.



(57) Abrégé

Un moteur piézoactif possède un stator équipé de modules statoriques (44) indépendants, comportant chacun au moins une paire d'actionneurs piézoactifs longitudinaux (12, 14) disposés colinéairement à l'intérieur d'un élément de couplage mécanique (16) en forme de coque (20). De plus, il est fixé par des liaisons élastiques (68, 70) de découplage, et comporte une contre-masse centrale (18). Pour produire une trajectoire fermée des sommets (A et B) destinés à provoquer par frottement le déplacement relatif d'un élément mené sur une grande course, et pour positionner l'élément mené, ces modules exploitent séparément ou en combinaison: une déformation en translation, obtenue lorsque les actionneurs piézoactifs, se déforment en opposition et produisent un déplacement tangentiel des sommets (A et B) de la coque (20) relativement à la contre-masse (18), grâce au rapport de masse entre la contre-masse et la coque; une déformation en flexion, obtenue lorsque les actionneurs piézoactifs se déforment de la même façon, et produisent une flexion de la coque (20), entraînant un déplacement normal des sommets A et B.

*UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION*

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroon	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

**Moteur piézoactif  
à base de modules statoriques indépendants.**

5

**Domaine technique de l'invention**

- 10 L'invention est relative à un moteur piézoactif équipé d'un ou plusieurs modules statoriques destinés à vibrer pour provoquer le déplacement relatif d'un élément mené, sur une grande course suivant un fonctionnement dynamique, et éventuellement un fonctionnement en pas à pas, à l'aide de moyens d'entraînement par frottement, les dits
- 15 modules statoriques permettant de plus, en se déformant, le positionnement fin de l'élément mené suivant un fonctionnement en actionneur direct, chaque module statorique comportant au moins :
- une paire d'actionneurs piézoactifs disposés colinéairement et excités électriquement de façon à se déformer et produire des petits
- 20 déplacements longitudinaux,
- un élément de couplage mécanique auquel sont appliquées les déplacements des deux actionneurs, le dit élément étant constitué par un anneau conformé en coque, et réalisé en un matériau élastique déformable, en entourant chaque paire d'actionneurs par fixation en
- 25 deux points opposés.

**Etat de la technique**

- 30 Le document EP-A- 313 072 A1 décrit un moteur piézoactif utilisant un fonctionnement dynamique, dont le stator est constitué d'une tête animée par un ou deux actionneurs piézoactifs dont la direction d'actionnement est inclinée en angle oblique par rapport à la direction du mouvement de l'élément mené. Il nécessite une configuration particulière d'entraînement adapté à l'entraînement d'objets souples et
- 35 flexibles tels que des feuilles de papier et basée sur un rouleau dont le coefficient de frottement vis-à-vis de la pièce menée est inférieur à celui

de la tête vis-à-vis de la pièce menée.

Un inconvénient majeur de ce stator est de provoquer la flexion des actionneurs piézoactifs simultanément à leur extension. Une telle flexion est préjudiciable compte tenu des limites en contraintes des matériaux actifs et réduit les performances en puissance du moteur. Un autre inconvénient est de nécessiter une configuration particulière d'entraînement qui limite considérablement le champ d'application du moteur. Enfin, l'absence de tout découplage entre le stator et le bâti entraîne des vibrations au bâti qui perturbent son fonctionnement.

10

Le document EP-A-313 072 A1 décrit aussi un procédé qui consiste à réaliser le positionnement fin à l'aide d'un fonctionnement en actionneur direct après avoir réalisé un positionnement grossier à l'aide d'un fonctionnement dynamique en haute fréquence. Le fonctionnement en actionneur direct fait intervenir un déplacement qui doit pouvoir être dans deux sens, ce qui conduit à des contraintes sur l'électronique, pénalisantes en terme de coût. Le ou les actionneurs piézoélectriques doivent pouvoir se déformer en élancement et en contraction. Or en pratique, cette contraction est nettement inférieure à l'élancement à cause de la limite en champ coercitif, ce qui limite la course de micro-positionnement. Par ailleurs, il n'est pas possible dans ce procédé connu de faire appel à un fonctionnement pas à pas, utile pour s'approcher au plus près, dans le but d'économie ultérieure de consommation en fonctionnement en actionneur direct.

25

Le document US 5424597 décrit un moteur piézoactif utilisant un fonctionnement en pas à pas, dont le stator est basé sur deux bras piézoactifs parallèles, chacun étant constitué d'un translateur et d'un élément de contrôle et faisant appel à des liaisons à pivots élastiques.

30 Ce moteur fonctionne en faisant en sorte qu'un premier bras établisse une connexion avec l'élément mené par pincement, pendant que le second bras se déplace et établisse un point de connexion un peu plus loin avant que le premier bras se déplace à son tour, et ainsi de suite. Ce fonctionnement pas à pas est possible en quasi statique, c'est à dire  
35 suivant des cycles dont la fréquence est basse, de 50 à 100 Hz, et conduit à une vitesse égale à 1mm/s au maximum.

Un inconvénient majeur de ce moteur est de ne pas pouvoir utiliser de mode de fonctionnement dynamique, à cause des temps de recouvrement nécessaires, et des vibrations qui seraient transmises au bâti, ce qui limite sa vitesse et son rendement.

5

Le document FR-A-2 564 912 décrit un moteur piézoactif composé de deux actionneurs piézoactifs colinéaires et d'un coupleur mécanique en forme de coque annulaire elliptique. La coque reçoit les vibrations produites par les actionneurs via des têtes, ce qui génère en son  
10 sommet des déplacements à trajectoire elliptique. La figure présentant le principe du stator montre que l'arrière des actionneurs est fixé à un bâti immobile. Suivant ce principe, le document décrit en détail de nombreuses structures de moteurs où les actionneurs sont placés à l'extérieur de la coque. Il présente aussi quelques configurations de  
15 stators où les actionneurs sont placés à l'intérieur de la coque. Dans ce cas, un support médian ou bâti, porte les actionneurs de chaque côté. Ce support médian fait partie intégrante du bâti, sans être découplé mécaniquement. Il est de plus présenté au niveau du raccordement avec les actionneurs sous la forme d'une pièce mince et légère, dont la masse  
20 est faible par rapport à celle de la coque.

A cause de cette structure, les configurations de moteur à actionneurs internes sont incompatibles avec le principe proposé dans le document et ne permettent pas un fonctionnement dynamique convenable. Les  
25 déformations longitudinales des actionneurs internes provoquent essentiellement le déplacement du support médian à cause de sa faible inertie, au lieu de celui de la coque. Le déplacement du support médian se propage dans tout le bâti. Le comportement d'un module n'est pas indépendant du bâti et des autres modules.

30

### **Objet de l'invention**

L'objet de l'invention consiste à réaliser un moteur piézoactif compact à bon rendement, où les vibrations sont produites à la fois efficacement et  
35 de façon bien localisée dans des modules statoriques indépendants, et offrant de plus des possibilités de positionnement fin.

Le moteur piézoactif selon l'invention est caractérisé en ce que :

- chaque module statorique est indépendant des autres, est libre de vibrer, et n'est fixé à d'autres pièces que par des liaisons élastiques
- 5 assurant un découplage en vibration,
- chaque module statorique comporte de plus une contre-masse centrale jouant le rôle d'inertie, insérée sans jeu à l'intérieur des coques entre les actionneurs,
- le rapport de masse entre la contre-masse et la coque est choisi pour
- 10 qu'en vibration, les déformations longitudinales des actionneurs internes génèrent un déplacement de la coque, d'amplitude non négligeable par rapport à celle de la contre-masse, et préférentiellement que le mode de translation de la coque et le mode de flexion de la coque sont accordés en fréquence afin d'obtenir un bon rendement.

15

Le fonctionnement des modules statoriques du moteur selon l'invention est basé sur les deux déformations indépendantes suivantes:

- Un premier type de déformation, appelée déformation en translation, est obtenu lorsque lesdits actionneurs piézoactifs se déforment
- 20 longitudinalement en opposition en produisant un déplacement tangentiel des sommets de la coque relativement à la contre-masse.
- Un second type de déformation, appelée déformation en flexion, est obtenu lorsque lesdits actionneurs piézoactifs se déforment longitudinalement de manière identique en produisant une flexion de la
- 25 coque, la contre-masse restant immobile au centre. Un tel fonctionnement entraîne un déplacement normal des sommets de la coque.

- 30 Une alimentation des actionneurs en tension continue produisant l'une ou l'autre de ces déformations permet d'obtenir et de maintenir un déplacement des sommets de coque.

- 35 Une alimentation des actionneurs en tension variable périodique à la même fréquence, produit la déformation en translation lorsque les actionneurs se déforment en opposition de phase mécanique, et en flexion lorsque les actionneurs se déforment en opposition de phase mécanique. Des vibrations des sommets sont alors obtenues soit en

quasi statique, soit en résonance mécanique, selon la fréquence. Le mode de translation et le mode de flexion sont associés respectivement aux déformations en translation et en flexion, et se produisent à des fréquences de résonance respectivement dites de translation et de flexion .

Une combinaison de ces deux types de déformation est réalisée lorsque lesdits actionneurs piézoactifs se déforment longitudinalement de façon non symétrique et non anti-symétrique. En régime périodique, ce cas est obtenu dans les cas où les actionneurs ne sont ni en phase, ni en opposition de phase, par exemple quand les actionneurs sont en quadrature de phase. Le déplacement relatif du sommet de la coque présente alors une composante tangentielle déphasée par rapport à sa composante normale pouvant donner lieu à une trajectoire fermée, par exemple elliptique. Cette trajectoire peut être produite en régime quasi statique, en exploitant l'un des modes, ou de façon plus avantageuse, en exploitant les modes de translation et de flexion en accord. Dans ce cas, il faut que les fréquences de résonance de ces modes coïncident approximativement, ce que permet la structure à contre-masse, selon l'invention.

L'importance de la contre-masse pour obtenir un déplacement de la coque non négligeable par rapport à celui de la contre-masse lors des vibrations exploitant la déformation en translation, est révélée par des expressions analytiques établies dans le cas générique d'un module à une coque non chargée, à deux actionneurs et une contre-masse et donnant les valeurs approchées du rapport des amplitudes de déplacements  $U_m$  de la contre-masse et  $U_c$  de la coque, à partir de  $M_c$  la masse de la coque, et  $M_m$  la masse de la contre-masse:

$$U_c/U_m = M_m/M_c$$

Cette expression montre que pour obtenir un déplacement de la coque, non négligeable par rapport à celui de la contre-masse, il est essentiel que le rapport de masse  $M_m/M_c$  ne soit pas trop faible.

L'importance de la contre-masse pour l'accord des modes de translation et de flexion est révélée par des expressions analytiques établies dans

ce même cas et donnant les valeurs approchées de la fréquence  $F_t$  du mode de translation, et de la fréquence  $F_f$  du mode de flexion, à partir de  $K_a$  la raideur d'un actionneur,  $K_c$  la raideur de la coque en flexion par actionneur,  $M_c$  la masse de la coque,  $M_c^*$  la masse modale de la coque en mode de flexion et de  $M_m$  la masse de la contre-masse :

$$F_t = 1/(2\pi) \cdot (2 \cdot K_a \cdot (1/M_c + 1/M_m))^{1/2}$$

$$\text{et } F_f = 1/(2\pi) \cdot (2 \cdot (K_a + K_c)/M_c^*)^{1/2}$$

L'accord des modes  $F_t = F_f$  est obtenu lorsque la masse  $M_m$  remplit la condition suivante :

$$M_c / M_m = (1 + K_c / K_a) \cdot M_c / M_c^* - 1$$

Comme  $M_c > M_c^*$  et  $K_c / K_a > 0$ , il vient que  $M_c / M_m > 0$ , ce qui garantit l'existence d'une solution pour  $M_m$ . En pratique,  $K_c$  et  $K_a$  sont du même ordre de grandeur, de même que  $M_c$  et  $M_c^*$ , ce qui implique que  $M_m$  est aussi du même ordre de grandeur que  $M_c$ .

15

Ces deux conditions sont compatibles entre elles, et conduisent à un rapport de masse  $M_m / M_c$  situé typiquement dans une fourchette de 1/3 à 3.

20 Selon une caractéristique de l'invention, une masse additionnelle démontable est associée à la contre-masse pour faciliter le réglage de l'accord des modes de translation et de flexion. Le changement des masses additionnelles modifie la fréquence du mode de translation sans modifier la fréquence du mode de flexion. Cette possibilité de réglage  
25 est utile pour corriger le désaccord introduit par le contact des sommets des coques avec l'élément mené, et par la précharge.

Dans le moteur suivant l'invention, la contre-masse est découplée de tout bâti pour pouvoir vibrer librement. Ainsi suivant les cas, elle est soit  
30 totalement libre, soit attachée au bâti ou à l'arbre d'actionnement par des liaisons élastiques, notamment en forme de lames.

La coque de l'élément de couplage peut présenter une forme quelconque, par exemple une forme cylindrique à section circulaire,  
35 elliptique ou en anse de panier symétrique, ou une forme de sphère



ajourée ou d'ellipsoïde ajourée. Dans le cas des coques non circulaires, le rapport grand axe sur petit axe n'est pas limité à une valeur particulière, grâce à la contre-masse.

- 5 Les actionneurs piézoactifs se caractérisent par leur aptitude à se déformer longitudinalement, en allongement ou en contraction, sous l'action d'une commande électrique. Ils sont réalisés à base d'éléments piézoélectriques, électrostrictifs ou magnétostrictifs. Le déphasage mécanique des déformations des actionneurs d'un module est obtenu  
10 en appliquant un déphasage électrique entre leurs tensions d'alimentation.

- L'utilisation d'un ou de plusieurs modules statoriques, impliquant qu'au moins un des sommets des coque soit pressé contre un guide, un rotor  
15 ou un élément mené présentant au moins un degré de liberté par rapport à ces modules, permet de réaliser des moteurs linéaires, rotatifs ou à plusieurs degrés de liberté, exploitant deux ou trois types de fonctionnement différents.

- 20 La pression statique entre les modules statoriques et le guide, le rotor ou l'élément mené par l'intermédiaire d'un élément élastique tel qu'un ressort ou une lame de flexion, appelée précharge, est appliquée au montage. Elle permet en statique d'assurer le maintien des modules par rapport au guide, au rotor ou à l'élément mené. En fonctionnement, la  
25 précharge permet le rattrapage de jeu, dû par exemple à l'usure.

- Pour obtenir un bon entraînement et un bon contact avec le guide, le rotor ou l'élément mené, ces pièces ou les sommets des coques peuvent être revêtus d'une couche de frottement par exemple une couche de  
30 polymère.

- Dans le fonctionnement en dynamique, les moteurs suivant l'invention utilisent la trajectoire fermée produite au sommet des modules statoriques pour induire par frottement un mouvement relatif du guide, du  
35 rotor ou de la pièce menée, en profitant de son inertie. La course obtenue peut ainsi être bien supérieure à l'amplitude de vibration des

modules, et est conservée avec les actionneurs hors tension. L'utilisation des modes de translation et de flexion accordés pour générer la trajectoire fermée permet de bénéficier de l'effet de surtension mécanique des deux modes. Des amplitudes de vibration tangentielle  
5 et normales élevées sont ainsi produites au sommet des coques et procurent au moteur une vitesse élevée, un bon rendement électromécanique et l'avantage d'une alimentation en basse tension.

Dans le fonctionnement en pas à pas, qui est possible avec les moteurs  
10 basés sur des modules statoriques à plusieurs coques coaxiales, suivant une possibilité de l'invention, les moteurs utilisent les trajectoires fermées des coques, déphasées entre elles au sein d'un même module, pour induire par frottement un mouvement relatif du guide, du rotor ou de la pièce menée, en profitant de leur raideur transverse. La course  
15 obtenue peut ainsi être bien supérieure à l'amplitude de vibration des modules et est conservée avec les actionneurs hors tension. Ce fonctionnement est particulièrement avantageux dans le cas d'une utilisation en basse fréquence évitant tout effet d'inertie de l'élément mené, car il permet son arrêt en position sans glissement. Il procure au  
20 moteur une vitesse lente et une très bonne contrôlabilité en positionnement micronique. Son utilisation conduit à la mise en œuvre d'un cadencement de commande spécifique.

Dans le fonctionnement en actionneur direct, les moteurs suivant  
25 l'invention utilisent la déformation quasi statique en translation ou en flexion des modules pour obtenir un positionnement fin, les sommets de la coque restant en contact avec le guide, le rotor ou l'élément mené. Le déplacement obtenu est inférieur à l'amplitude de vibration des modules et n'est conservé qu'avec les actionneurs sous tension. Dans le cas  
30 particulièrement intéressant où les modules sont rattachés par un point situé sur l'avant de la coque et dans l'axe des actionneurs, la déformation en flexion est utilisée, ce qui ne nécessite que des déformations en extension des actionneurs. Ces déformations exploitent bien les déformations maximales des matériaux piézoélectriques sans  
35 rencontrer leur limite en champ coercitif. Elles peuvent de plus être engendrées avec des tensions d'alimentation de même signe, toutes

positives par exemple, ce qui simplifie l'électronique. Le déplacement produit est alors limité à un seul sens ce qui conduit à la mise en œuvre d'un cadencement de commande spécifique.

- 5 Ce fonctionnement procure au moteur une aptitude au positionnement submicronique.

Ces différents modes de fonctionnement sont complémentaires et peuvent être utilisés conjointement pour effectuer un positionnement à la  
10 fois rapide et précis.

Le fonctionnement en dynamique est utilisé pour réaliser les grandes courses jusqu'à l'approche de la position visée.

Le fonctionnement en actionneur direct est utilisé si un positionnement fin est nécessaire.

- 15 Le fonctionnement en pas à pas permet une approche plus précise du positionnement visé que le fonctionnement en dynamique, permettant une réduction de la consommation du fonctionnement en actionneur direct.

20

Un mode de réalisation préférentiel conduit à un moteur linéaire à un module statorique mobile à deux coques, exploitant les trois types de fonctionnement. Selon ce mode, le module statorique comprend une contre-masse, liée à deux paires parallèles d'actionneurs coaxiaux,  
25 chaque paire d'actionneurs coaxiaux agissant sur une coque. Ce module statorique est placé à l'intérieur d'un bâti à deux plaques de guidage fixes, venant en engagement avec les sommets opposés des coques, lesdites plaques s'étendant parallèlement et symétriquement par rapport à la ligne d'alignement des actionneurs piézoactifs. Un  
30 contact pressant des plaques de guidage avec le sommet des coques est assuré par un dispositif à rattrapage de jeu à liaison élastique, préchargé au montage. Dans cette structure, l'arbre d'actionnement peut être fixé à la contre-masse via un découplage élastique et passe entre les deux coques.

35

Pour obtenir un moteur piézoactif sans palier et à fonctionnement non

lubrifié, l'arbre d'actionnement du moteur est accouplé directement à l'avant des coques par l'intermédiaire d'une liaison élastique à flexion. Dans ce cas, le module statorique est positionné par rapport au bâti au moyen d'organes de guidage élastique, fixés au bâti et à l'avant et à l'arrière des coques.

Il est particulièrement avantageux d'obtenir un moteur à deux degrés de liberté, avec un module statorique comprenant:

- une première paire d'actionneurs piézoélectriques placés colinéairement de part et d'autre de la contre-masse,
- une deuxième paire d'actionneurs piézoélectriques disposés colinéairement de part et d'autre de la contre-masse, et orthogonalement à la première paire,
- la coque comprenant quatre branches en forme de demi-ellipsoïdes enveloppant lesdits actionneurs, de manière à générer à son sommet des mouvements dans deux plans perpendiculairement entre eux.

Le module statorique est disposé à l'intérieur d'une coupelle, et coopère avec un dispositif à ressorts pour fournir un moteur de type rotule, à deux degrés de liberté en rotation sur un débattement angulaire limité.

Selon une variante de réalisation, la coque du module statorique du moteur coopère avec un secteur angulaire d'une roue articulée sur un axe, un ressort étant ancré entre la masse d'inertie, et un point d'ancrage.

### **Description des figures**

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de différents modes de réalisation donnés à titre d'exemples non limitatifs, et représentés aux dessins annexés dans lesquels:

- la figure 1 représente une vue schématique d'un module statorique selon l'invention, dans l'état de repos sans excitation des actionneurs piézoélectriques;

- la figure 2 représente schématiquement la structure de la figure 1 dans une déformation en translation, en traits continus, comparée à la structure au repos, en traits pointillés;
- 5
- la figure 3 représente schématiquement la structure de la figure 1 dans une déformation en flexion, en traits continus, comparée à la structure au repos, en traits pointillés;
- 10
- la figure 4 est une vue identique de la figure 1, avec montage d'une masse additionnelle démontable, fixée sur la contre-masse;
  - la figure 5 est une vue de profil de la figure 4;
- 15
- la figure 6 représente schématiquement une vue en coupe d'un module statorique à deux coques selon la ligne 1-1 de la figure 1;
- 20
- la figure 7 représente schématiquement une vue de dessus du module statorique à deux coques de la figure 6, dans une déformation en translation où les deux coques sont en opposition de phase mécanique, en traits continus, comparée à la structure au repos, en traits pointillés;
- 25
- la figure 8 représente schématiquement une vue de dessus du module statorique à deux coques de la figure 6, dans une déformation en flexion où les deux coques sont en opposition de phase mécanique, en traits continus, comparée à la structure au repos, en traits pointillés;
- 30
- la figure 9 montre un module statorique de structure tridimensionnelle, adapté pour un moteur piézoactif à deux degrés de liberté;
  - la figure 10 représente un premier mode de réalisation d'un moteur piézoactif linéaire, représenté en coupe selon la ligne 10-10 de la figure 12;
- 35
- la figure 11 est une vue en coupe selon la ligne 11-11 de la figure 10;
  - la figure 12 est une vue en coupe selon la ligne 12-12 de la figure 11;

- la figure 13 illustre une translation submicronique de l'arbre d'actionnement pour un positionnement fin, suite à une déformation quasi-statique en translation du module;
- 5
- la figure 14 illustre un deuxième mode de réalisation d'un moteur piézoactif linéaire selon l'invention;
- la figure 15 est une vue en coupe selon la ligne 15-15 de la figure 14;
- 10
- la figure 16 est une vue de dessus de la figure 15;
- la figure 17 montre une translation submicronique de l'arbre d'actionnement pour un positionnement fin, suite à une déformation quasi-statique en flexion du module;
- 15
- la figure 18 montre un troisième mode de réalisation d'un moteur piézoactif à deux degrés de liberté en rotation;
- 20
- la figure 19 montre un quatrième mode de réalisation d'un moteur piézoactif à entraînement rotatif;
- la figure 20 illustre une variante de réalisation pour un moteur piézoactif linéaire;
- 25
- la figure 21 est une vue de profil de la figure 20;
- la figure 22 est une vue identique de la figure 20 d'une autre variante de réalisation;
- 30
- la figure 23 représente schématiquement un moteur rotatif à quatre modules;
- la figure 24 représente une vue en coupe selon la ligne 24-24 de la figure 23;
- 35

- la figure 25 montre un organigramme d'un premier cadencement exploitant des modes de fonctionnement en pas à pas et en dynamique;
  - la figure 26 montre un organigramme d'un deuxième cadencement exploitant les modes de fonctionnement en dynamique et en tension continue positive.
- 5

#### Description d'un mode de réalisation préférentiel

- 10 En référence à la figure 1, le stator 10 vibrant d'un moteur piézoactif comporte deux actionneurs piézoactifs 12, 14 agencés colinéairement à l'intérieur d'un élément de couplage 16 mécanique avec interposition dans la partie centrale d'une contre-masse 18 mobile. Les actionneurs piézoactifs peuvent être réalisés à titre d'exemples à l'aide de matériaux
- 15 céramiques frittés de PZT. A titre d'exemple, un actionneur peut être une céramique massive ou multicouche, un empilement de céramiques, un bilame constitué d'une lame inactive et d'une couche piézoactive ou un trilame constitué d'une lame inactive et de deux couches piézoactives. Dans ces deux derniers cas, la coque, la contre-masse et la lame
- 20 inactive peuvent être réalisées en une seule pièce plate ayant la forme du module complet, sur laquelle les couches piézoactives sont rapportées.
- 25 A la place des actionneurs piézoactifs, il est également possible d'utiliser des actionneurs magnétostrictifs, ou électrostrictifs. Les actionneurs 12, 14 sont fixés par tout moyen en deux points diamétralement opposés à l'intérieur de l'élément de couplage 16, et en deux points diamétralement opposés de la coque 12.
- 30 L'élément de couplage mécanique 16 est constitué par un anneau fermé conformé selon une coque 20, et réalisé en un matériau élastiquement déformable, par exemple en acier ou en alliage d'aluminium. Sur la figure 1, l'anneau de l'élément de couplage 16 est cylindrique, mais il pourrait également avoir une forme elliptique ou en forme de panier.
- 35 Sous l'effet de signaux d'alimentation délivrés par un générateur ou une

source d'énergie, les actionneurs piézoactifs 12, 14 produisent des déplacements longitudinaux ou des vibrations longitudinales dans la direction de l'axe diamétral d'alignement des actionneurs.

- 5 Les déplacements produits par les actionneurs piézoactifs 12, 14 lors d'une excitation électrique, sont transmises à la coque 20 de l'élément de couplage 16, laquelle est soumise à deux déformations indépendantes.
- 10 La figure 2 présente schématiquement la déformation en translation obtenue lorsque les actionneurs piézoactifs 12, 14 se déforment longitudinalement en opposition de phase mécanique, c'est à dire l'un en contraction, l'autre en élongation, et produisent un déplacement tangentiel relatif DX des sommets A et B de la coque 20 par rapport au
- 15 centre C de la contre-masse 18. Cette déformation peut être produite en régime quasi statique ou au mode de translation.

- La figure 3 présente schématiquement la déformation en flexion obtenue lorsque les actionneurs piézoactifs 12, 14 se déforment
- 20 longitudinalement en phase mécanique, c'est à dire de la même façon, et produisent une flexion de la coque 20 entraînant un déplacement normal DZ des sommets A et B de la coque, la contre-masse 18 restant immobile au centre. Cette déformation peut être produite en régime quasi statique ou au mode de flexion.

- 25 La combinaison de ces deux types de déformation est réalisée lorsque les actionneurs piézoactifs se déforment longitudinalement à la même fréquence dans les autres cas de phase mécanique, tels que la quadrature de phase. Les déplacements des sommets A et B de la
- 30 coque décrivent alors une trajectoire fermée par exemple elliptique, utilisée pour entraîner par frottement une pièce menée. Cette trajectoire peut être produite en régime quasi statique, ou de façon plus avantageuse, en exploitant un accord approximatif des modes de translation et de flexion pour bénéficier de l'effet de surtension dû à la
- 35 résonance mécanique.



En référence aux figures 4 et 5, cet accord est obtenu grâce à la valeur judicieusement choisie de la masse de la contre-masse 18, et accessoirement de masses additionnelles 22 démontables et interchangeables, permettant un réglage fin sans nécessiter le  
5 démontage complet du module. Cette possibilité est utile pour corriger le désaccord introduit par le contact des sommets A ou B avec l'élément mené et par la précharge.

Les figures 6, 7 et 8 concernent un module à deux coques coaxiales 20A et 20B, reliées à la contre-masse commune 18 par les actionneurs piézoactifs 12A, 14A, 12B et 14B. Si les actionneurs sont alimentés de telle sorte que les déformations de l'actionneur 12A soient identiques à celles de l'actionneur 12B, de même que 14A par rapport à 14B, les déformations en translation et en flexion peuvent être produites  
10 rigoureusement de la même manière que décrit en figures 2 et 3. Les déplacements relatifs des sommets A1 et A2 des coques 20A, 20B sont alors en phase mécanique. L'accord des modes est obtenu grâce à la valeur judicieusement choisie de la masse de la contre-masse 18, avec accessoirement des masses additionnelles, et en notant que, dans les  
15 formules précédentes  $M_c$  représente la moitié de la masse de la contre-masse pour tenir compte du nombre de coques et d'actionneurs.

La présence de deux coques animées par deux paires indépendantes d'actionneurs offre toutefois des possibilités supplémentaires en terme  
25 notamment de déphasage mécanique des déplacements relatifs des sommets A1 et A2 des coques, ce qu'illustre les figures 7 et 8.

Les figures 7 et 8 représentent le module statorique respectivement en déformations en translation et en flexion, où les deux coques 20A, 20B  
30 sont en opposition de phase mécanique. Cette opposition de phase est produite en alimentant les paires d'actionneurs avec des tensions de signes contraires. Dans ces conditions, si les actionneurs piézoactifs se déforment longitudinalement à la même fréquence et de telle sorte les deux actionneurs d'une paire soient en quadrature de phase, les  
35 déplacements des sommets A1 et A2 des coques 20A, 20B décrivent des trajectoires fermées, par exemple elliptiques, en étant en opposition

de phase l'un par rapport à l'autre. Ces déplacements permettent l'entraînement par frottement d'une pièce menée dans un fonctionnement en pas à pas. Ce fonctionnement est particulièrement avantageux dans le cas d'une utilisation en basse fréquence évitant tout effet d'inertie de l'élément mené, car il permet son arrêt en position sans glissement.

La figure 9 illustre un module statorique 24 de structure tridimensionnelle pour un moteur piézoactif à deux degrés de liberté. Le module statorique 24 est équipé dans la zone centrale d'une contre-masse 26 mobile, à laquelle sont associées en croix une première paire d'actionneurs piézoactifs 12A, 14A, et une deuxième paire d'actionneurs piézoactifs 12B, 14B, s'étendant respectivement selon deux axes x et y perpendiculaires. Une coque 28 constituant l'élément de couplage mécanique, comporte quatre branches 30, 32, 34, 36 en forme de demi-ellipsoïdes enveloppant les deux paires d'actionneurs 12A et 14A; 12B et 14B, et réunies l'une à l'autre par deux zones de liaison 38, 40 positionnées sur l'axe z s'étendant orthogonalement aux axes x et y. Les deux zones de liaison 38, 40 constituent les sommets de la coque 28.

La production des déformations dans le module statorique 24 de la figure 9 s'effectue de la manière suivante:

- 25 Une déformation en translation dans le plan x z est obtenue lorsque les actionneurs piézoactifs 12A et 14A de la première paire se déforment longitudinalement à la même fréquence en opposition de phase mécanique, et produisent un déplacement tangentiel suivant x des sommets A et B de la coque 28 relativement à la contre-masse 26.
- 30 De la même façon, une déformation en translation dans le plan y z est obtenue à l'aide de la seconde paire d'actionneurs 12B et 14B, et produit un déplacement tangentiel suivant y des sommets A et B relativement à la contre-masse 28.
- La déformation en flexion est obtenue lorsque les actionneurs piézoactifs d'au moins une paire se déforment longitudinalement à la même fréquence, en phase mécanique, et produisent une flexion de la

coque 28, la contre-masse 26 restant immobile au centre. Il en résulte un déplacement normal des sommets de la coque 28, suivant z.

La combinaison de ces deux types de déformation peut donner lieu à une trajectoire fermée des sommets A et B par exemple elliptique, situées dans un plan quelconque contenant l'axe z. Cette trajectoire peut être produite en régime quasi statique, ou de façon plus avantageuse, en exploitant un accord des modes de translation et de flexion, obtenu grâce à la contre-masse.

10 Le module statorique 24 de la figure 9 est adapté pour entraîner par frottement une pièce suivant les axes x et y, l'ensemble constituant un moteur piézoactif à deux degrés de liberté.

Un premier exemple de réalisation d'un moteur piézoactif linéaire 42 est représenté sur les figures 10 à 12, et comporte un module statorique 44 constitué de deux demi-modules symétriques 44A, 44B disposés en parallèle, ce module étant du type décrit en référence aux figures 6, 7, et 8. Les structures des demi-modules 44A, 44B sont identiques. La contre-masse 18 est commune aux demi-modules 44A, 44B, et l'arbre 46 d'actionnement du moteur 42 est accouplé mécaniquement à la contre-masse 18 par une lame de découplage 45 en passant entre les coques 20A, 20B. Le guidage en translation de l'arbre 46 est assuré à l'aide d'un palier 48 ménagé dans le bâti 50 fixe .

25 Le module statorique 44 est placé à l'intérieur du bâti 50 à deux plaques de guidage 52, 54 fixes venant en engagement avec les sommets A1, A2, B1, B2 des coques 20A, 20B de chaque demi-module 44A, 44B. Les deux plaques de guidage 52, 54 s'étendent parallèlement et symétriquement par rapport à l'arbre 46, et à la ligne d'action des actionneurs piézoactifs 12A, 14A, 12B, 14B, et coopèrent avec un dispositif de rattrapage de jeu 56 à liaison élastique assurant une précharge sur les coques 20A, 20B par leurs sommets A1, A2, B1, et B2. Cette précharge maintient en contact le module statorique au repos avec les faces internes des plaques 52, 54, lesquelles sont revêtues avec une couche de frottement.

- Le dispositif de rattrapage de jeu 56 comprend à titre d'exemple des lames de flexion 58, 60 prenant appui en opposition sur les faces extérieures des plaques 52, 54. Les lames de flexion 58, 60 sont fixées par des vis 62, et exercent un effort de compression entre le module
- 5    statorique 44 et les plaques de guidage 52, 54, engendrant l'effort bloqué en l'absence d'alimentation du moteur 42. Les lames de flexion peuvent bien entendu être remplacées pour tout autre type de ressort exerçant la même fonction.
- 10   Dans ce moteur linéaire, le module statorique est mobile par rapport au bâti. Il se déplace par frottement avec les deux plaques de guidage 52, 54 fixées au bâti, en entraînant l'arbre 46 en translation. Pour les grandes courses, il exploite le fonctionnement dynamique ou en pas à pas. Pour le positionnement fin, il exploite le fonctionnement en
- 15   actionneur direct.
- Dans le fonctionnement en dynamique, les trajectoires fermées des deux coques 20A, 20B induisent par frottement le mouvement relatif des plaques de guidage 52, 54 en profitant de leur inertie. Pour des
- 20   questions de stabilité et de simplicité d'alimentation, il est préférable en général de faire vibrer les deux coques 20A, 20B en phase entre elles. Il est de plus avantageux d'utiliser l'accord des modes de translation et de flexion, en exploitant le fait que la contre-masse 18 puisse vibrer librement, ce qui est permis par le découplage élastique 45. En
- 25   s'arrangeant de plus pour que la fréquence des modes soit ultrasonore, par exemple 20kHz ou plus, le moteur est silencieux et possède une vitesse à vide élevée, dépassant typiquement 1 cm/s.
- Dans ce fonctionnement, les formes d'onde des tensions d'alimentation des actionneurs piézoactifs sont alternatives et périodiques, de forme et
- 30   de fréquence identique pour tous les actionneurs, mais décalées dans le temps l'une de l'autre d'une fraction de période, par exemple un quart de période. Ces formes d'onde sont sinusoïdales en général mais pas obligatoirement, le décalage dans le temps correspondant alors à un déphasage, par exemple d'un angle de 90°.
- 35   Dans le fonctionnement en pas à pas, les trajectoires fermées des

sommets des deux coques 20A, 20B sont déphasées entre elles et induisent par frottement le mouvement relatif des plaques de guidage 52, 54, en profitant de la raideur transverse de l'ensemble constitué de ces plaques et des lames ressort 58, 60. Cette raideur fait en sorte que

5 lorsque le module passe par la déformation en flexion où les deux coques 20A, 20B sont en opposition de phase mécanique, décrite par la figure 8, les sommets d'une des coques se trouvent en contact avec les plaques 52, 54, pendant que les sommets de l'autre coque sont décollés. Le fonctionnement en pas à pas exploite les passages de cette

10 déformation à la déformation en translation où les deux coques 20A, 20B sont en opposition de phase mécanique, décrite par la figure 9. A cause des symétries, les déplacements DX1 et DX2 sont identiques et notés DX. En moteur, les sommets des deux coques, sont tous contacts, en étant donc écartés d'une distance 2DX. Le passage de la première à la

15 seconde déformation produit un quart de la trajectoire fermée des sommets des deux coques 20A, 20B. Une trajectoire fermée complète produit un pas élémentaire pouvant atteindre au mieux 4DX. Dans ce fonctionnement, aucun effet d'inertie des plaques 52, 54 n'est utilisé, ce qui permet un fonctionnement quasi-statique, par exemple à quelques

20 dizaines ou centaines de Hertz, conduisant à une vitesse à vide lente, inférieure typiquement à 1 mm/s.

Dans ce fonctionnement, les formes d'onde des tensions d'alimentation des actionneurs piézoactifs sont périodiques, de fréquence identique

25 pour tous les actionneurs. Elles peuvent être par exemple rectangulaires, triangulaires, ou trapézoïdales. Elles sont décalées l'une de l'autre d'une fraction de période, par exemple un quart de période. En prenant l'actionneur 12A pour référence, les décalages des formes d'onde des tensions d'alimentation des actionneurs 14A, 12B et 14B

30 sont respectivement d'un quart, d'une demi et de trois quarts de période par exemple.

Dans le fonctionnement en actionneur direct, les sommets des coques 20A, 20B restent en contact sans glissement avec les plaques 52, 54,

35 grâce à la précharge. Suivant la figure 13, l'utilisation d'une déformation en translation en quasi-statique produit un déplacement DX de la contre-

masse 18 entraînant celui de l'arbre d'actionnement 46. Dans ce fonctionnement, les tensions d'alimentation des actionneurs piézoactifs 12A, 12B, 14A et 14B définissent directement et de façon à peu près proportionnelle, le micro-déplacement DX souhaité.

5

Un deuxième mode de réalisation d'un moteur piézoactif 64 linéaire est illustré sur les figures 14 à 16. Le module statorique 44 est similaire à celui décrit précédemment en référence aux figures 10 à 12, mais l'arbre d'actionnement 46, au lieu d'être fixé à la masse d'inertie 18, est accouplé directement à l'avant des coques 20 des demi-modules 44A, 44B par l'intermédiaire d'une liaison à flexion 66. En plus des plaques de guidage 52, 54 et du dispositif de rattrapage de jeu 56 exerçant une précharge sur les coques 20 au niveau des sommets A et B, les demi-modules statoriques 44A, 44B sont positionnés par rapport au bâti 50 au moyen d'organes de guidage formés par des lames de flexion 68, 70 fixées au bâti 50 par des vis 71, et à l'avant 72 et à l'arrière 74 des coques 20. L'architecture du moteur 64 permet d'obtenir des courses en translation limitée, par exemple quelques millimètres, avec des raideurs transverses élevées. Aucun palier n'est nécessaire pour le guidage de l'arbre 46, le fonctionnement du moteur 64 s'effectuant sans lubrification.

Dans ce moteur linéaire, le module statorique est mobile par rapport au bâti. Il se déplace par frottement avec les deux plaques de guidage 52, 54 fixées au bâti, en entraînant l'arbre 46 en translation. Pour les grandes courses, il exploite le fonctionnement dynamique ou en pas à pas, comme celui décrit en référence aux figures 10 à 12. Pour le positionnement fin, grâce au point de fixation de l'arbre 46 sur l'avant de la coque 20, il exploite avantageusement un fonctionnement en actionneur direct, dans lequel les actionneurs utilisent leur déformation en extension, et sont alimentés avec des tensions égales et positives. Dans ce fonctionnement, les sommets des coques restent en contact sans glissement avec les plaques, grâce à la précharge. Suivant la figure 17, l'utilisation d'une déformation en flexion en quasi-statique produit un déplacement DX de l'avant de la coque 20 entraînant le déplacement de l'arbre d'actionnement 46.

Un troisième mode de réalisation selon la figure 18 utilise le module statorique 24 de la figure 9, disposé à l'intérieur d'une coupelle 76 de logement à forme évasée pour constituer un moteur 78 à deux degrés de liberté en rotation, avec un débattement angulaire limité. Un dispositif à  
5 ressorts 80, 82, 84 est ancré entre la périphérie de la coupelle 76 et une tige 86 attachée à la zone de liaison 38 via une liaison élastique 45, de manière à exercer un effort de précontrainte entre le stator 24 et la coupelle 76, tout en assurant le découplage en vibration du module par  
10 rapport au bâti fixe (non représenté). L'excitation des actionneurs piézoactifs 12A, 14A avec des tensions alternatives en quadrature provoque un déplacement en rotation de la coupelle 76 autour de l'axe y. Inversement, la rotation de la coupelle 76 autour de l'axe x est possible lors de l'excitation des actionneurs 12B, 14B de la deuxième  
15 paire.

En référence à la figure 19, concernant un quatrième mode de réalisation, le module statorique 10 des figures 1 à 3 coopère par l'intermédiaire du sommet A de la coque 20 avec un secteur angulaire  
20 90 d'une roue 92 articulée sur un axe 94 pour constituer un moteur piézoactif 99. Le maintien en appui de la coque 20 contre la face interne du secteur angulaire 90 est assuré au moyen d'un ressort 96 ancré entre la masse d'inertie 18 et un point d'ancrage 98 du bâti, disposé au-dessus du secteur 90. Une alimentation des actionneurs piézoactifs 12,  
25 14 générant une trajectoire fermée du point A, provoque une rotation de l'axe 94.

Le module statorique 10 de la figure 1 peut être utilisé pour concevoir un moteur linéaire 100, tel que représenté aux figures 20 et 21. La coque 20  
30 du module statorique 10 est reliée par des lames élastiques 102, 104 assurant la précharge et le découplage du module, à un chariot de support 106, lequel est équipé d'une surface de glissement 108 portée par un guide 110 en forme de rail. Une alimentation des actionneurs piézoactifs 12, 14 générant une trajectoire fermée du point A, entraîne le  
35 déplacement en translation du chariot de support 106 le long du guide 110 de longueur illimitée.

Dans la variante de la figure 22, la coque 20 du module statorique 10 est reliée par des lames élastiques 102, 104 aux extrémités opposées d'un guide 112 rectiligne, ayant une longueur prédéterminée, et s'étendant dans la direction de la ligne d'action des actionneurs 12, 14. L'ensemble constitue un moteur piézoélectrique 114 à course de débattement limitée.

Les figures 23 et 24 présentent un moteur rotatif 120 dont le stator est composé de quatre modules statoriques 10A, 10B, 10C et 10D, indépendants. Chaque module a une structure identique à celle de la figure 1, et est fixé au bâti 98 du stator par sa contre-masse 18 via un amincissement élastique 45. Cet amincissement assure le découplage en vibration du module. Son élasticité est utilisée pour réaliser la précharge au montage et pour le rattrapage de jeu des modules. Chaque module est en contact par les points A1, A2, A3 et A4 avec le rotor 92 solidaire d'un axe 94. Une alimentation des actionneurs piézoactifs 12 et 14 de chaque module générant une trajectoire fermée des points A1, A2, A3 et A4 suivant un fonctionnement dynamique, provoque l'entraînement en rotation de l'axe 94. Un fonctionnement en actionneur direct des modules utilisant des déformations opposées des actionneurs 12 et 14 comme dans le cas de la figure 13 provoque un petit déplacement tangentiel des points A1, A2, A3 et A4 conduisant à un micropositionnement angulaire du rotor. Cette configuration de moteur pourrait utiliser aussi des modules à deux coques tels que décrits aux figures 6 à 8, en offrant en plus un mode de fonctionnement en pas à pas rotatif.

La figure 25 montre un premier cadencement applicable à des moteurs piézoactifs possédant les trois types de fonctionnement. Pour le moteur 42 illustré aux figures 10 et 11, il est préférable d'utiliser le mode de fonctionnement dynamique pour réaliser la partie la plus longue de la course, avant de passer en mode de fonctionnement en pas à pas, pour profiter d'un arrêt en freinage à la fois beaucoup plus court, et plus précis. Le mode de fonctionnement en actionneur direct intervient éventuellement en guise de troisième mode. L'utilisation combinée des



premier et deuxième modes est illustrée sur l'organigramme de la figure 25, dans lequel  $X_i$  représente la position réelle du moteur,  $X_f$  est la position finale souhaitée, et  $E$  représente l'écart signé entre les deux positions  $X_f$  et  $X_i$ .

5

$DX_{max}$  est le déplacement maximum en actionneur direct, et  $N$  constitue un paramètre toujours supérieur à 1, et préférentiellement de l'ordre de 10. Le passage du premier mode au deuxième mode intervient dès que la valeur absolue de l'écart signé  $E$  est inférieure à  $N$  fois  $DX_{max}$ .

10

La figure 26 représente un deuxième cadencement adapté aux moteurs possédant un fonctionnement dynamique, et un fonctionnement en actionneur direct basé sur une déformation en flexion, par exemple le moteur de la figure 17. Pour ce type de moteur, il est recommandé d'utiliser le mode de fonctionnement dynamique pour effectuer la partie la plus longue de la course, avant de passer en mode de fonctionnement en actionneur direct, en exploitant le fait que le déplacement  $DX$  en actionneur direct est positif ( $DX > 0$ ) et grand, étant donné que la limite en champ coercitif de la céramique n'est pas rencontrée. Une alimentation en tension continue positive est alors suffisante pour effectuer le déplacement. L'utilisation combinée des premier et troisième modes est donnée par l'organigramme de la figure 26, dans lequel on compare l'écart signé  $E$  entre la position finale  $X_f$  et la position réelle  $X_i$  du moteur, à  $DX_{max}$  représentant le déplacement maximum en mode actionneur direct, en définissant le sens positif de l'axe  $X$  des positions partant de la contre-masse 18 vers l'arbre d'actionnement 46. Tant que l'écart signé  $E$  n'est pas compris entre zéro et  $DX_{max}$ , on utilise le mode de fonctionnement dynamique. Lorsque l'écart signé  $E$  est compris entre zéro et  $DX_{max}$ , on utilise le mode de fonctionnement en actionneur direct.

30

## REVENDECATIONS

5

1. Moteur piézoactif (42, 64, 99, 100, 114, 120) dont le stator est équipé d'un ou plusieurs modules statoriques (10, 10A, 10B, 10C, 10D, 24, 44) destinés, en vibrant, à provoquer le déplacement relatif d'un élément
- 10 mené sur une grande course à l'aide de moyens d'entraînement par frottement, les dits modules statoriques permettant de plus, en se déformant, le positionnement fin de l'élément mené, chaque module statorique comportant au moins :
- une paire d'actionneurs piézoactifs (12, 14, 12A, 14A, 12B, 14B)
- 15 disposés colinéairement et excités électriquement de façon à se déformer et produire des petits déplacements longitudinaux,
- un élément de couplage mécanique (16) auquel sont appliquées les déplacements des deux actionneurs, le dit élément étant constitué par un anneau conformé en coque (20, 20A, 20B, 28), et réalisé en un
- 20 matériau élastique déformable, en entourant chaque paire d'actionneurs par fixation en deux points opposés,
- caractérisé en ce que
- chaque module statorique (10, 10A, 10B, 10C, 10D, 24, 44) est
- 25 indépendant des autres, est libre de vibrer, et n'est fixé à d'autres pièces que par des liaisons élastiques (45, 66, 68, 70, 96, 102, 104) assurant un découplage en vibration,
- chaque module statorique comporte de plus une contre-masse centrale (18, 26) jouant le rôle d'inertie, insérée sans jeu à l'intérieur des coques
- 30 (20, 20A, 20B, 28) entre les actionneurs piézoactifs (12, 14, 12A, 14A, 12B, 14B) et les coques (20, 20A, 20B, 28),
- un premier type de déformation de module, en translation, est obtenu lorsque lesdits actionneurs piézoactifs se déforment longitudinalement en opposition et produisent un déplacement tangentiel des sommets (A
- 35 et B) de la coque (20, 28) relativement à la contre-masse (18, 26),
- un second type de déformation de module, en flexion, est obtenu

lorsque lesdits actionneurs piézoactifs se déforment longitudinalement de la même façon et produisent une flexion de la coque (20, 28) entraînant un déplacement normal des sommets (A et B), la contre-masse (18, 26) restant immobile au centre,

- 5 - le rapport de masse entre la contre-masse (18, 26) et la coque (20, 28) est choisi pour qu'en vibration en translation, les déformations longitudinales des actionneurs internes génèrent un déplacement de coque, d'amplitude non négligeable par rapport à celle de la contre-masse,
- 10 la combinaison de ces deux types de déformation étant obtenue lorsque lesdits actionneurs piézoactifs (12, 14, 12A, 14A, 12B, 14B) se déforment longitudinalement à la même fréquence avec un déphasage mécanique différent de 0° ou 180°, et produisent une trajectoire fermée des sommets (A et B) utilisable pour provoquer par frottement le
- 15 déplacement relatif de l'élément mené.

2. Moteur piézoactif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport des masses de la contre-masse (18, 26) et de la coque (20, 28) est choisi pour obtenir un accord des modes de translation et de flexion.

20

3. Moteur piézoactif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins une masse additionnelle démontable (22) fixée sur chaque contre-masse (18, 26) autorise le réglage du rapport de masse pour obtenir un accord des modes de translation et de flexion.

25

4. Moteur piézoactif selon la revendication 1 ou 3, caractérisé en ce que les modules statoriques (44) sont formés de deux demi-modules symétriques (44A, 44B) associés à une contre-masse (18) commune sur laquelle sont fixées deux paires d'actionneurs piézoactifs (12A, 14A,
- 30 12B, 14B) en parallèle, chaque paire étant liée à une coque (20A, 20B).

5. Moteur piézoactif selon la revendication 4, caractérisé en ce que le module statorique (44) est placé à l'intérieur d'un bâti (50) à deux plaques de guidage (52, 54) fixes venant en engagement avec les
- 35 sommets (A et B) opposés des coques (20), lesdites plaques s'étendant

parallèlement et symétriquement par rapport à la ligne d'alignement des actionneurs piézoactifs (12, 14).

- 5 6. Moteur piézoactif selon la revendication 5, caractérisé en ce que les plaques de guidage (52, 54) coopèrent avec un dispositif de rattrapage de jeu (56) à liaison élastique assurant une précharge desdites plaques de guidage sur les coques (20).
- 10 7. Moteur piézoactif selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'arbre (46) d'actionnement du moteur (42) est accouplé mécaniquement à la contre-masse (18) par un organe de découplage élastique (45), et que le dispositif de rattrapage de jeu (56) comporte deux lames de flexion (58, 60) agencées en opposition sur les faces extérieures des plaques de guidage (52, 54).
- 15 8. Moteur piézoactif selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que l'arbre (46) d'actionnement du moteur (64) est accouplé directement à l'avant des coques (20) par l'intermédiaire d'une liaison élastique à flexion (66), et que les modules statoriques (44A, 44B) sont positionnés
- 20 par rapport au bâti (50) au moyen d'organes de guidage élastique (68, 70) fixés au bâti (50), ainsi qu'à l'avant (72) et à l'arrière (74) des coques (20).
- 25 9. Moteur piézoactif selon l'une des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que le module statorique (24) présente une structure tridimensionnelle adaptée à un moteur à deux degrés de liberté comprenant:
- une première paire d'actionneurs piézoactifs (12A, 14A) placés colinéairement de part et d'autre de la contre-masse (26),
  - 30 - une deuxième paire d'actionneurs piézoactifs (12B, 14B) disposés colinéairement de part et d'autre de la contre-masse (26), et orthogonalement à la première paire,
  - la coque (28) comprenant quatre branches (30, 32, 34, 36) en forme de demi-ellipsoïdes enveloppant lesdits actionneurs de manière à générer
  - 35 aux sommets (A, B) de la coque des déplacements dans trois directions orthogonales entre elles.

10. Moteur piézoactif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le module statorique (24) est disposé à l'intérieur d'une coupelle (76), et coopère avec un dispositif à ressorts (80, 82, 84) pour constituer un  
5 moteur à deux degrés de liberté en rotation sur un débattement angulaire limité.

11. Moteur piézoactif selon la revendication 1, caractérisé en ce que des moyens d'alimentation en tension continue des actionneurs piézoactifs  
10 (12, 14) permettent un déplacement statique de l'arbre (46) d'actionnement lorsque ce dernier est fixé à la contre-masse (18) dans une déformation en translation.

12. Moteur piézoactif selon la revendication 1, caractérisé en ce que des moyens d'alimentation en tension continue des actionneurs piézoactifs  
15 (12, 14) permettent un déplacement statique de l'arbre (46) d'actionnement lorsque ce dernier est fixé à la coque (20) dans une déformation en flexion.

20 13. Moteur piézoactif selon la revendication 1 ou 3, caractérisé en ce que la coque (20) du module statorique (10) du moteur (99) coopère avec un secteur angulaire (90) d'une roue (92) articulée sur un axe (94), un ressort (96) étant ancré entre la contre-masse (18), et un point  
25 d'ancrage (98).

14. Moteur piézoactif selon la revendication 1 ou 3, caractérisé en ce que la coque (20) du module statorique (10) d'un moteur linéaire (100) est reliée par des moyens de liaison élastique (102, 104) à un chariot de  
30 support (106), lequel est doté d'une surface de glissement (108) facilitant le déplacement de l'ensemble le long d'un guide (110) en forme de rail.

15. Moteur piézoactif selon la revendication 1 ou 3, caractérisé en ce que la coque (20) du module statorique (10) est reliée par des moyens  
35 de liaison élastique aux extrémités opposées d'un guide (112) rectiligne ayant une longueur prédéterminée, et s'étendant parallèlement à la

direction d'alignement des actionneurs (12, 14) pour former un moteur (114) à débattement limité.

- 5 16. Moteur piézoactif selon la revendication 1 ou 3, caractérisé en ce que le stator comporte plusieurs modules statoriques (10A, 10B, 10C, 10D) répartis en étoile et coopérant avec la surface cylindrique interne d'un rotor (92) pour entraîner en rotation un arbre (94).
- 10 17. Moteur piézoactif selon la revendication 4, caractérisé en ce que le positionnement de l'arbre d'actionnement (46) est assuré au moyen d'un cadencement comprenant :
- des moyens pour élaborer l'écart signé  $E$  entre la position finale  $X_f$  souhaité, et la position réelle  $X_i$  de l'arbre (46),
  - des moyens pour comparer l'écart  $E$  avec un multiple  $N$  du déplacement maximum  $DX_{max}$  en mode actionneur direct, le passage du premier mode de fonctionnement dynamique au deuxième mode de fonctionnement pas à pas, intervenant dès que la valeur absolue de l'écart  $E$  est inférieure à  $N$  fois  $DX_{max}$ .
- 20 18. Moteur piézoactif selon la revendication 12, caractérisé en ce que le positionnement de l'arbre d'actionnement (46) est assuré au moyen d'un cadencement comprenant :
- des moyens pour élaborer l'écart signé  $E = X_f - X_i$  entre la position finale  $X_f$  souhaité, et la position réelle  $X_i$  de l'arbre (46), en définissant le sens positif de l'axe  $X$  des positions partant de la contre-masse (18) vers l'arbre d'actionnement (46),
  - des moyens pour comparer l'écart  $E$  avec le déplacement maximum  $DX_{max}$  en mode actionneur direct, le passage du premier mode de fonctionnement dynamique vers le troisième mode de fonctionnement en actionneur direct, intervenant lorsque l'écart signé  $E$  est compris entre zéro et le déplacement  $DX_{max}$ ,
  - des moyens d'alimentation en tension continue positive pour le déplacement de l'arbre pendant le troisième mode de fonctionnement en actionneur direct.
- 35

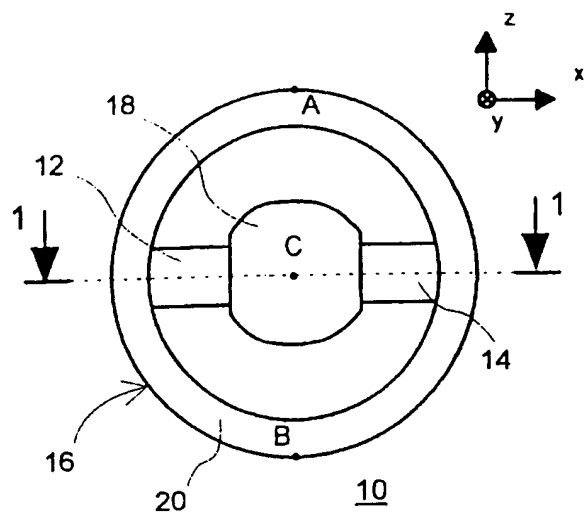


Fig. 1

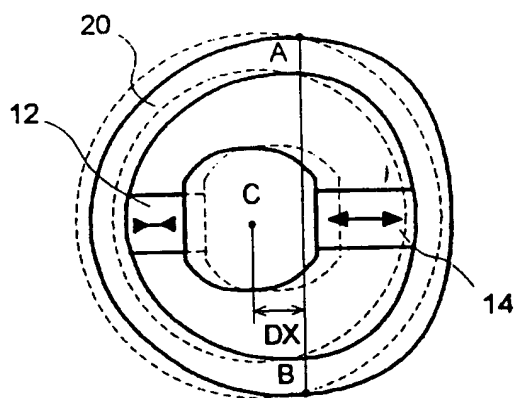


Fig. 2

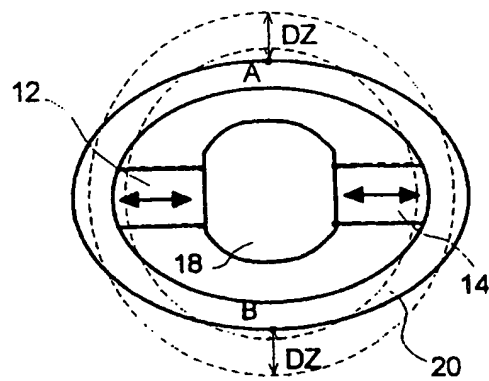


Fig. 3

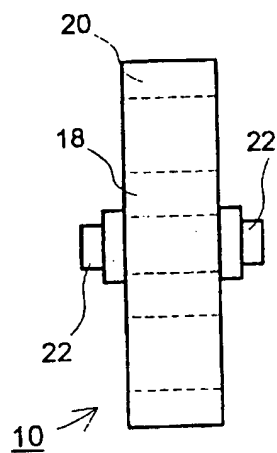


Fig. 5

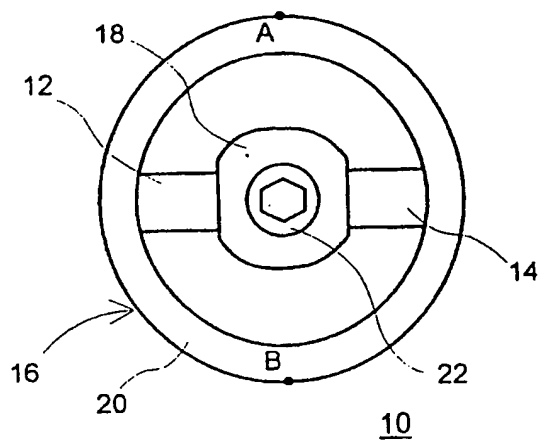


Fig. 4



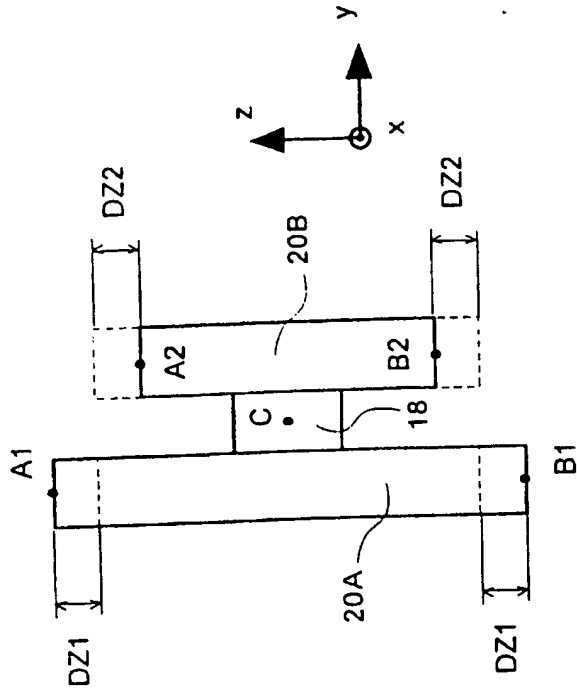


Fig. 8

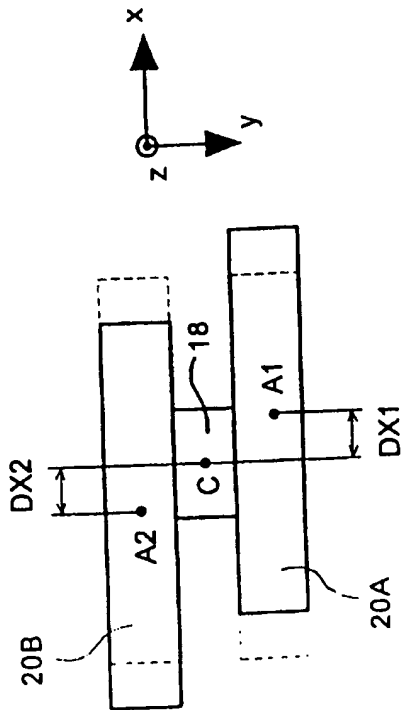


Fig. 7

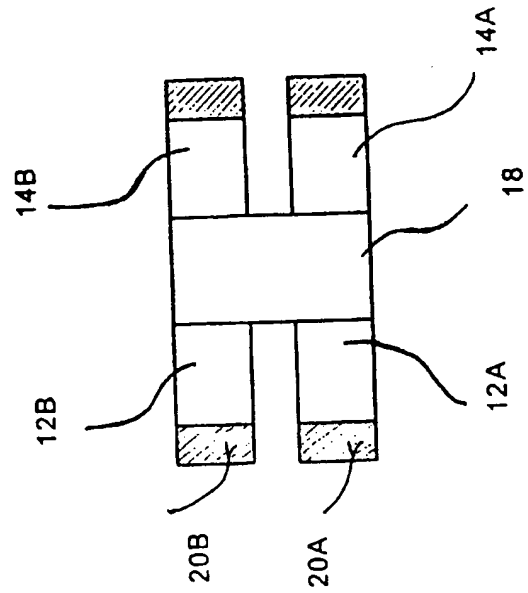


Fig. 6



5 / 17

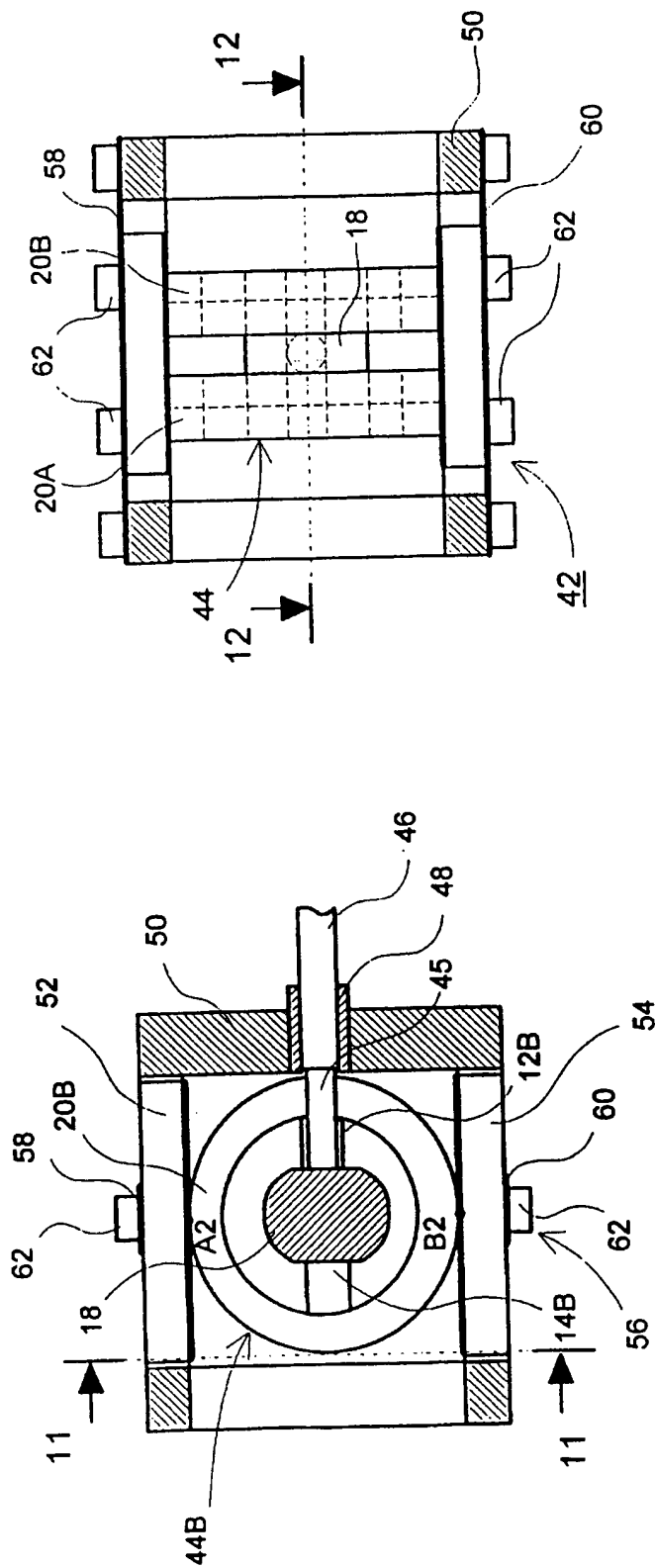


Fig. 11

Fig. 10

6 / 17

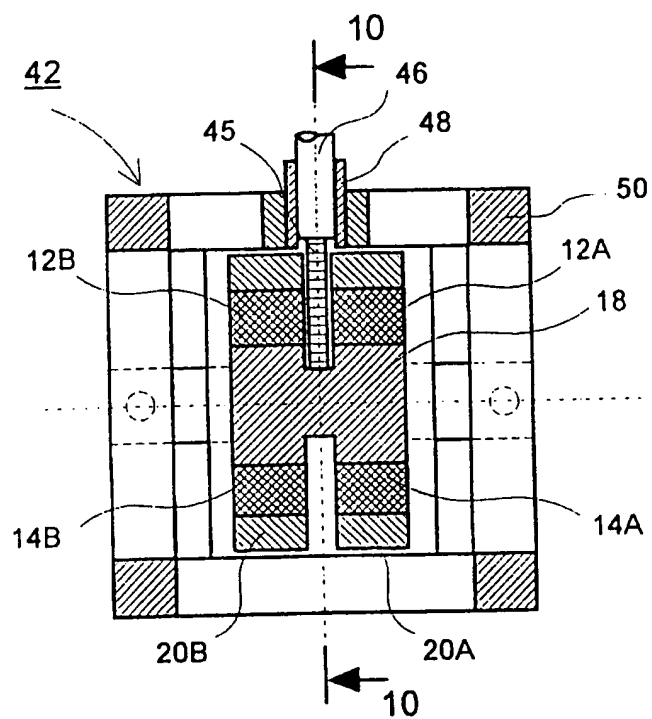


Fig. 12

7 / 17

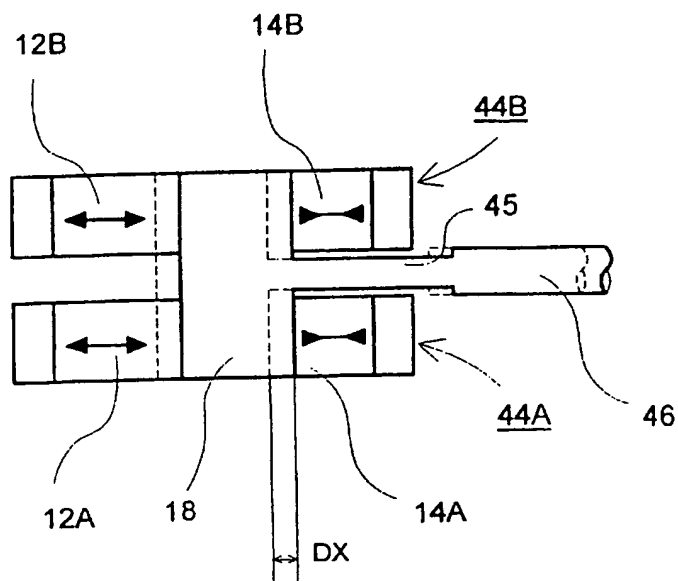


Fig. 13

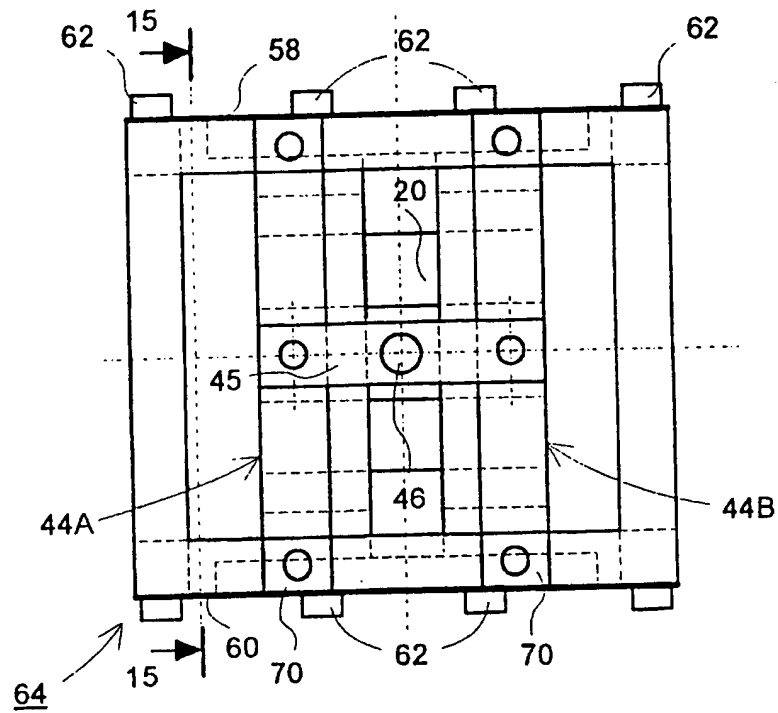


Fig. 14

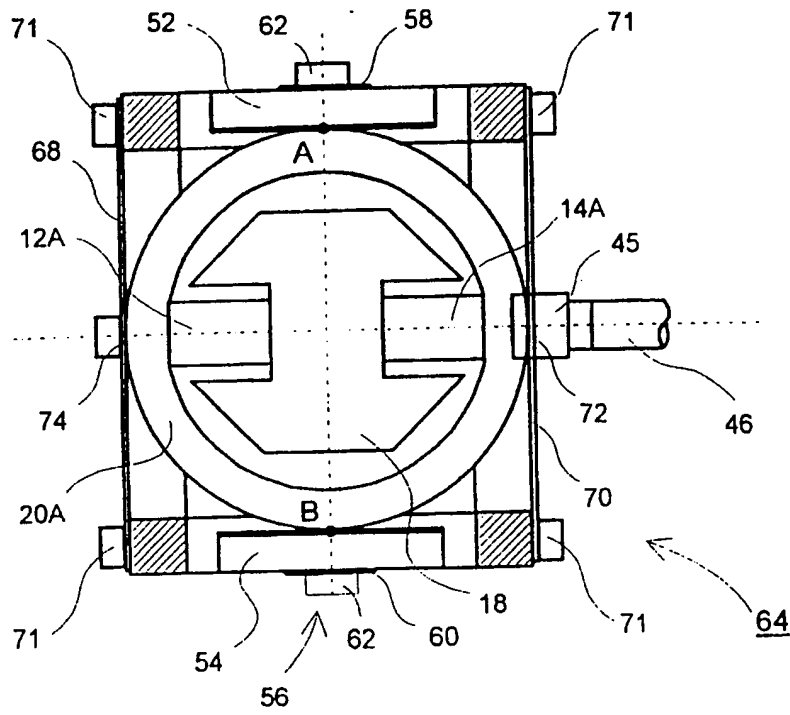


Fig. 15

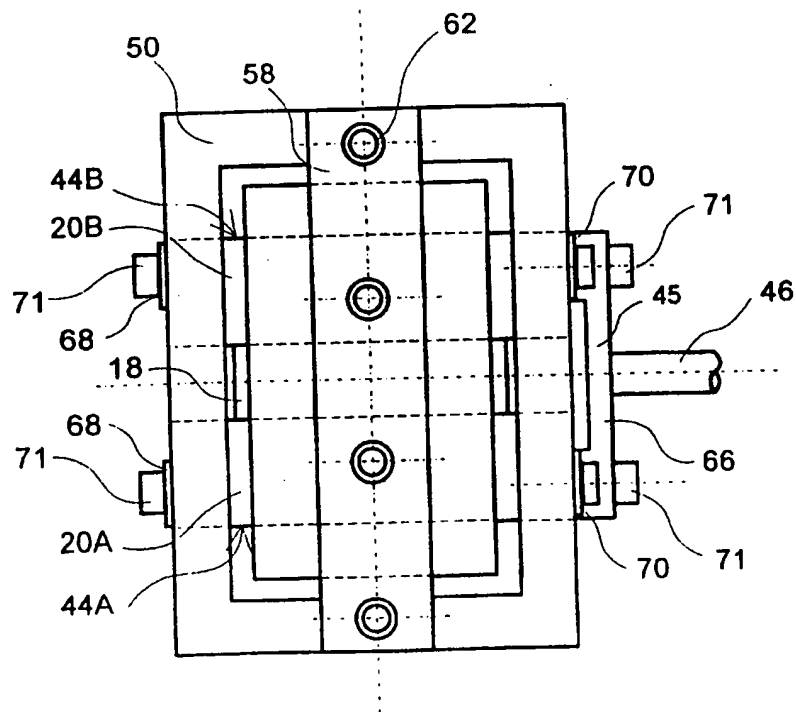


Fig. 16

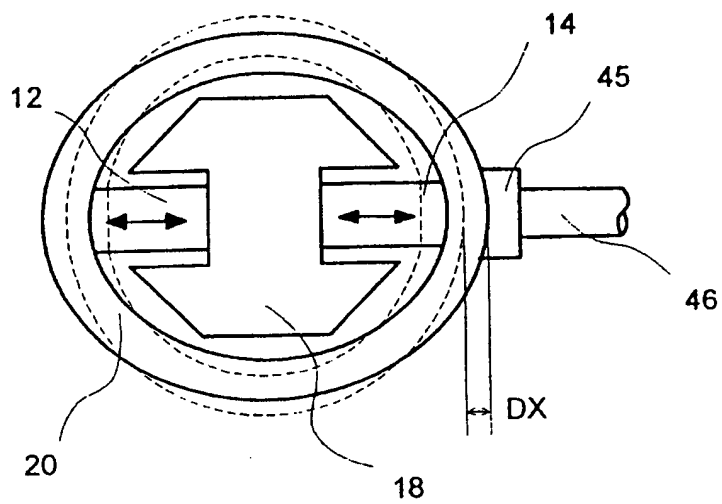


Fig. 17



11 / 17

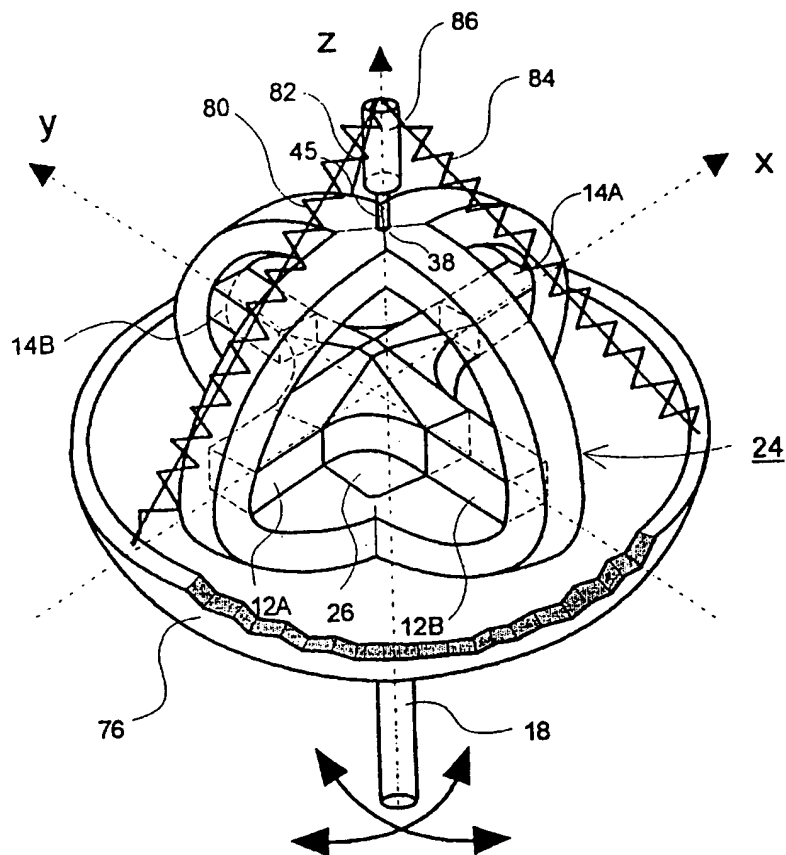


Fig. 18

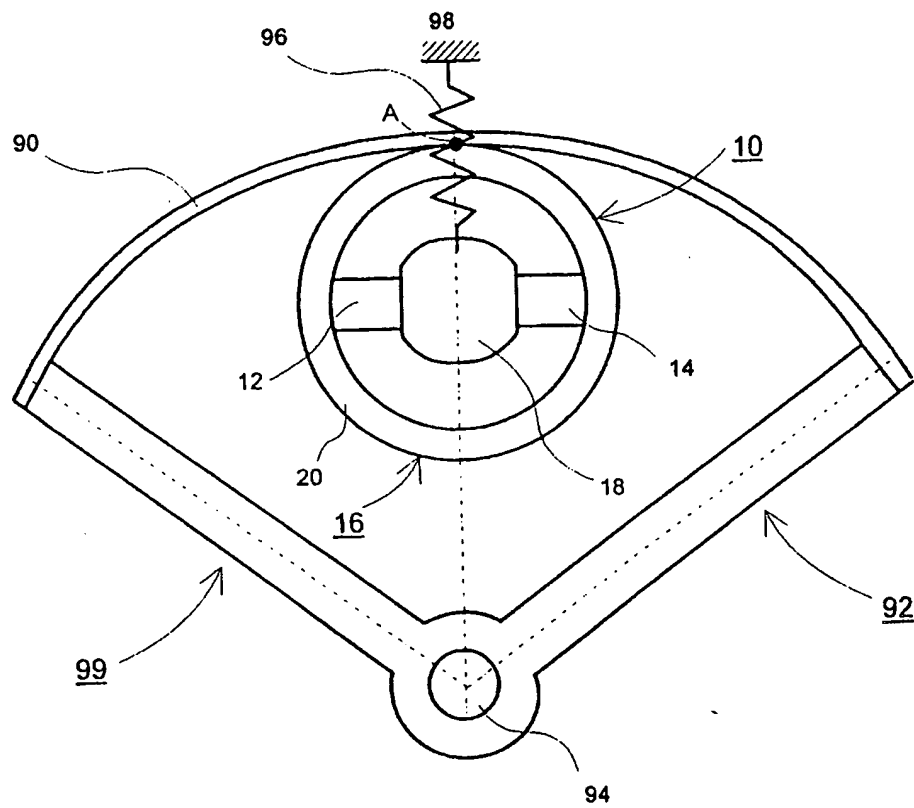
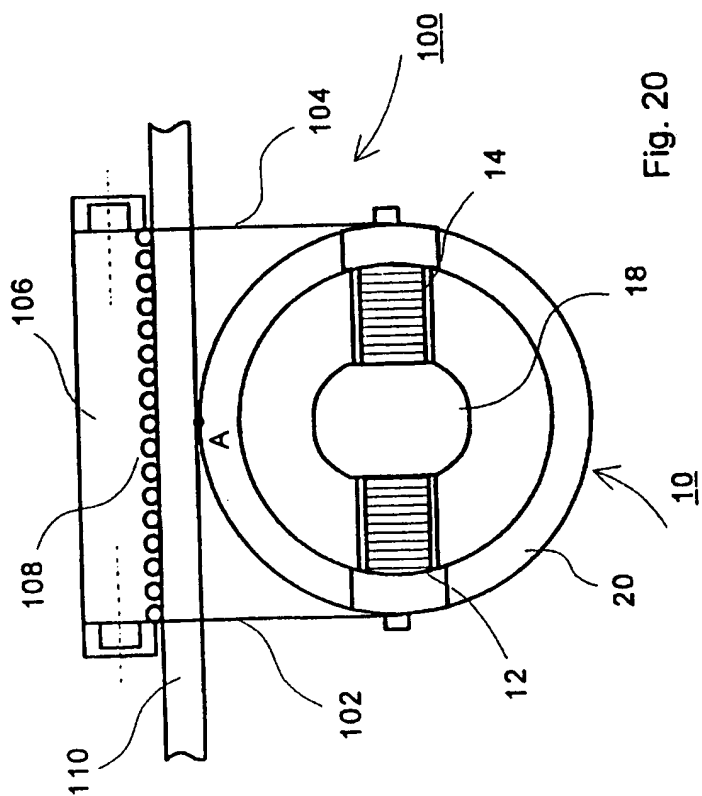
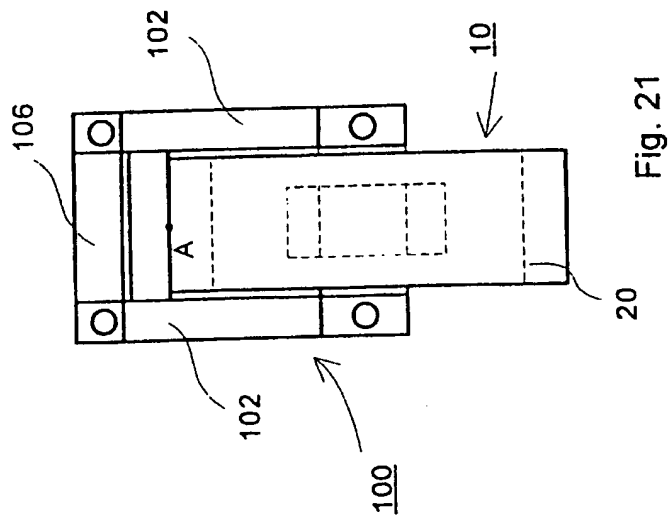
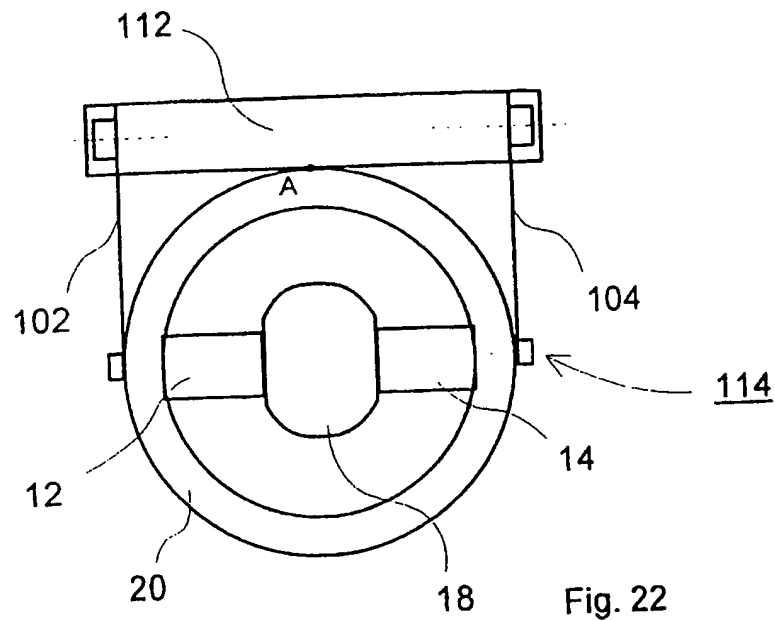


Fig. 19





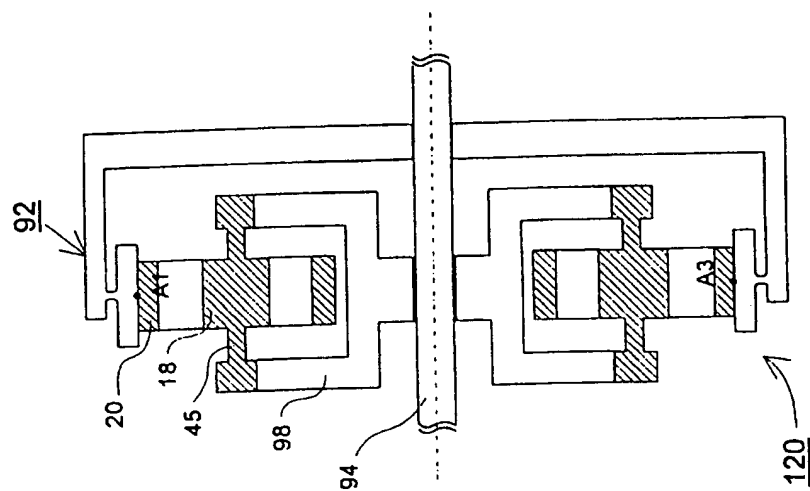


Fig. 24

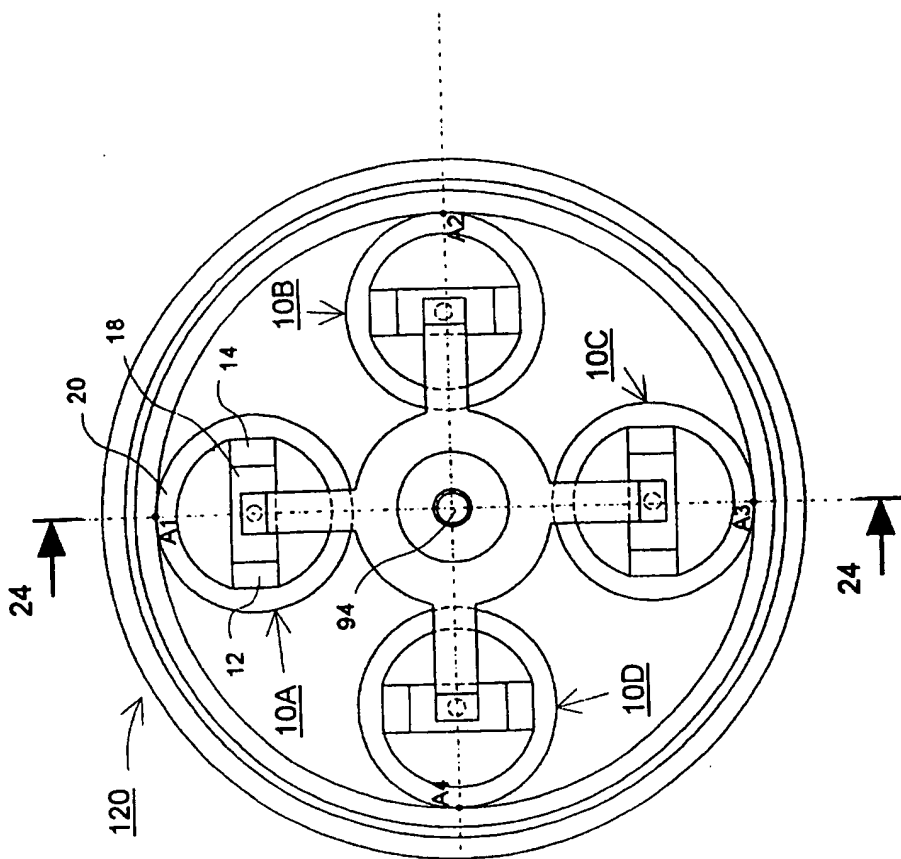


Fig. 23

16 / 17

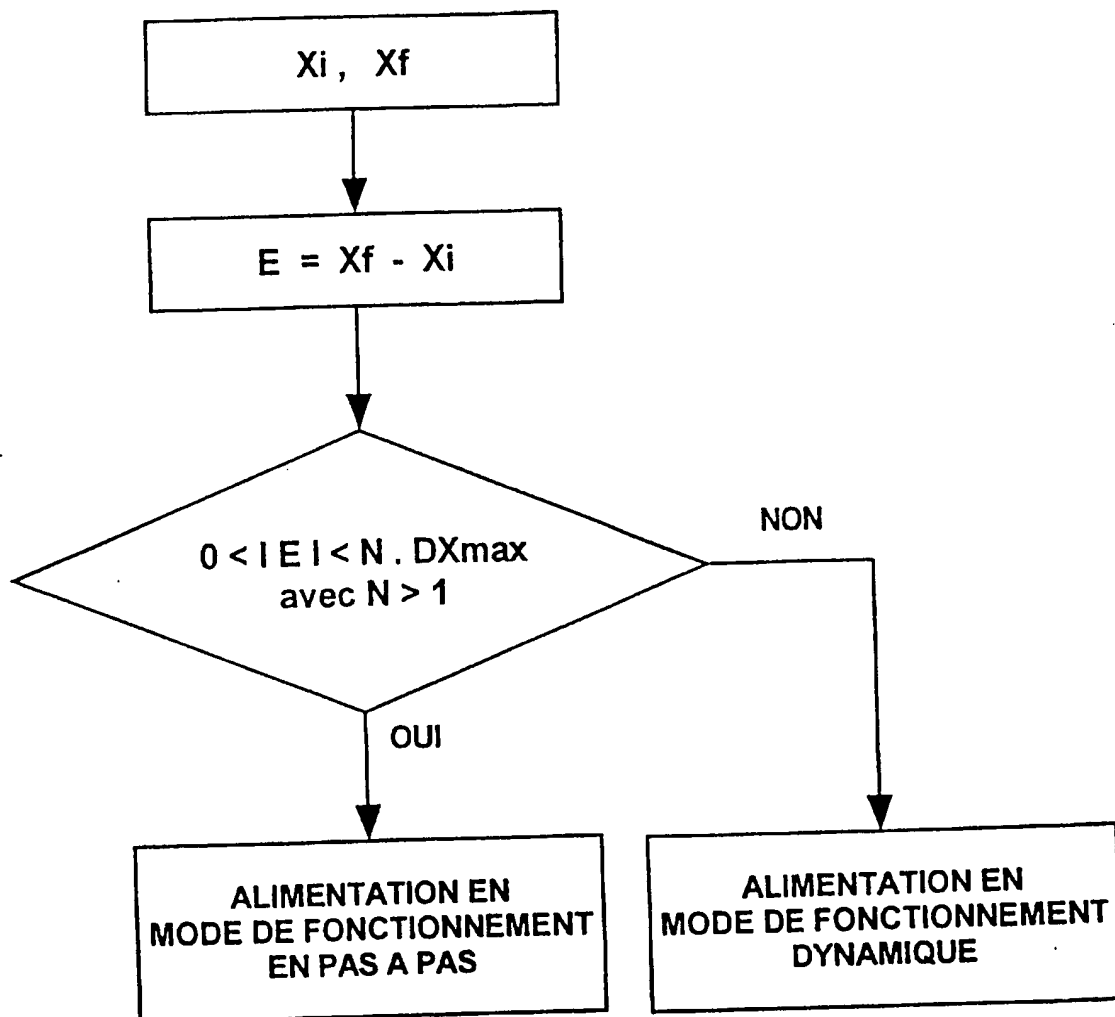


Fig. 25

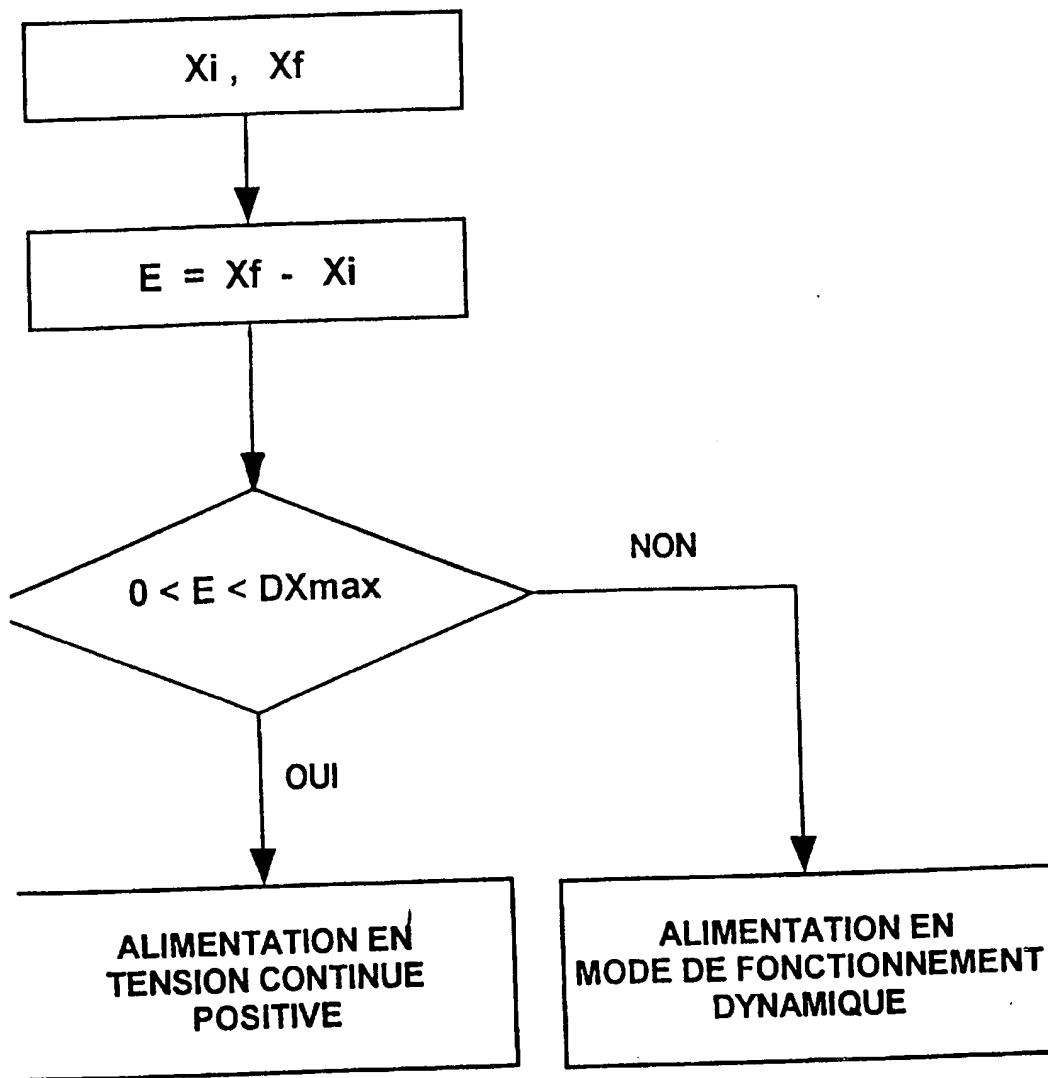


Fig. 26

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR 97/01135

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 H01L41/09

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 643 427 A (FIGEST B V) 15 March 1995 see figures 15-17 ---	1
A	EP 0 370 508 A (CASIO COMPUTER CO LTD) 30 May 1990 see figure 9 ---	1
A	DE 16 13 087 A (H:FRENK) 7 January 1971 see figure 3 ---	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 009, no. 325 (E-368), 20 December 1985 & JP 60 156283 A (TOUHOKU KINZOKU KOGYO KK), 16 August 1985, see abstract --- -/-	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*A\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 October 1997

Date of mailing of the international search report

22 -10- 1997

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3018

Authorized officer

Pelsers, L



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. l. Application No

PCT/FR 97/01135

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT .

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN  vol. 012, no. 254 (E-634), 16 July 1988  &amp; JP 63 039478 A (NISSAN MOTOR CO LTD),  19 February 1988,  see abstract</p> <p>-----</p>	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. .ional Application No

PCT/FR 97/01135

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0643427 A	15-03-95	FR 2709213 A	24-02-95
		ES 2071602 T	01-07-95
		JP 7154979 A	16-06-95
		US 5532540 A	02-07-96
EP 0370508 A	30-05-90	JP 2146967 A	06-06-90
		JP 2146968 A	06-06-90
		DE 68923687 D	07-09-95
		DE 68923687 T	18-04-96
		US 5199701 A	06-04-93
DE 1613087 A	07-01-71	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der. Internationale No  
PCT/FR 97/01135

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 6 H01L41/09

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 643 427 A (FIGEST B V) 15 mars 1995 voir figures 15-17 ---	1
A	EP 0 370 508 A (CASIO COMPUTER CO LTD) 30 mai 1990 voir figure 9 ---	1
A	DE 16 13 087 A (H:FRENK) 7 janvier 1971 voir figure 3 ---	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 009, no. 325 (E-368), 20 décembre 1985 & JP 60 156283 A (TOUHOKU KINZOKU KOGYO KK), 16 août 1985, voir abrégé ---	1
-/-		

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 octobre 1997

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

22 -10- 1997

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Pelsers, L

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Den .e Internationale No  
PCT/FR 97/01135

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 254 (E-634), 16 juillet 1988 &amp; JP 63 039478 A (NISSAN MOTOR CO LTD), 19 février 1988, voir abrégé</p> <p>-----</p>	1

1

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Doc. Internationale No

PCT/FR 97/01135

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0643427 A	15-03-95	FR 2709213 A ES 2071602 T JP 7154979 A US 5532540 A	24-02-95 01-07-95 16-06-95 02-07-96
EP 0370508 A	30-05-90	JP 2146967 A JP 2146968 A DE 68923687 D DE 68923687 T US 5199701 A	06-06-90 06-06-90 07-09-95 18-04-96 06-04-93
DE 1613087 A	07-01-71	AUCUN	